

В такой постановке задачи получены системы связанных квазидифференциальных уравнений относительно поперечных составляющих электрического и магнитного полей. Это говорит о том, что волны основных слоёв ячейки возможной периодической структуры содержат все компоненты электрического и магнитного векторов и представляют собой сложную по свойствам спектральную систему. Используя выражения для составляющих электрического и магнитного полей и граничные условия в слоях ячейки, получены дисперсионные уравнения как вблизи критических условий, так и вдали от них. При этом электромагнитное поле в градиентных слоях представляется суммой поверхностных электрических и магнитных волн. Изучены зависимости внутренних и внешних поперечных и продольных волновых чисел волн основных волноведущих слоёв от их приведённых поперечных размеров для различных поперечных пространственных профилей элементов тензоров их диэлектрических проницаемостей. Отдельно исследовано влияние параметров градиентности диагональных и недиагональных компонент тензоров диэлектрической проницаемости для выявления механизма появления гибридных волн. На основе этого проведён анализ продольных волновых чисел гибридных волн от угла между оптической осью и направлением распространения волн. Показано, что для необыкновенной гибридной волны поверхность изменения диэлектрической проницаемости (показателя преломления) представляет собой эллипсоид вращения с полуосями, которые определяются конкретными пространственными распределениями. Это приводит к различным особенностям поведения волнового спектра гибридных волн (пересечению спектров, фазовому синхронизму, невзаимному преобразованию мод и т.д.) близких по поляризации к магнитным и электрическим волнам градиентной ячейки периодической структуры.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В КРУГЛОМ ОТКРЫТОМ ТРЕХСЛОЙНОМ ФЕРРИТ-ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ

А.В. Назаров, Е.А. Попов, М.С. Рожкова

(Нижний Новгород, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева; physics@nntu.nnov.ru)

ELECTROMAGNETIC WAVES PROPAGATION ALONG AN OPEN CIRCULAR THREE-LAYER FERRITE-DIELECTRIC WAVEGUIDE

A.V. Nazarov, E.A. Popov, M.S. Rozhkova

Рассматривается круглый открытый трехслойный феррит-диэлектрический волновод, представляющий собой продольно намагниченную ферритовую втулку, внутренний и внешний радиусы которой равны a и b соответственно, находящуюся в поперечно-неограниченной изотропной диэлектрической среде (рисунок 1).

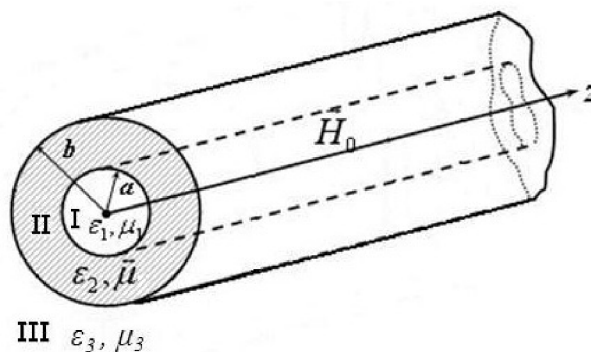


Рис. 1.

Электродинамический анализ рассматриваемой направляющей структуры осуществляется на основе метода укорочения дифференциального уравнения и метода частичных областей. Продольные составляющие электрического и магнитного полей в частичных областях I-III (рисунок 1) представляются в виде

$$\begin{aligned} E_{z1} &= A_1 J_n(\alpha_1 r) e^{-i(\pm n\varphi + \beta z)}; \\ H_{z1} &= B_1 J_n(\alpha_1 r) e^{-i(\pm n\varphi + \beta z)}; \\ E_{z2} &= \left[\xi_2 A_2 J_n(\chi_1 r) + \xi_2 \bar{A}_2 Y_n(\chi_1 r) - \xi_1 B_2 J_n(\chi_2 r) - \xi_1 \bar{B}_2 Y_n(\chi_2 r) \right] \frac{e^{-i(\pm n\varphi + \beta z)}}{\xi_2 - \xi_1}; \\ H_{z2} &= i \left[A_2 J_n(\chi_1 r) + \bar{A}_2 Y_n(\chi_1 r) - B_2 J_n(\chi_2 r) - \bar{B}_2 Y_n(\chi_2 r) \right] \frac{e^{-i(\pm n\varphi + \beta z)}}{\xi_2 - \xi_1}; \\ E_{z3} &= A_3 H_n^{(2)}(\alpha_3 r) e^{-i(\pm n\varphi + \beta z)}; \\ H_{z3} &= B_3 H_n^{(2)}(\alpha_3 r) e^{-i(\pm n\varphi + \beta z)}, \end{aligned}$$

где $A_1, A_2, \bar{A}_2, A_3, B_1, B_2, \bar{B}_2, B_3$ – неизвестные амплитудные коэффициенты; β – продольное волновое число; $J_n(x)$ – функция Бесселя; $Y_n(x)$ – функция Неймана; $H_n^{(2)}(x)$ – функция Ханкеля 2-го рода; n – азимутальный индекс; $\alpha_{1,3}^2 = \varepsilon_{1,3} \mu_{1,3} \omega^2 - \beta^2$; $\varepsilon_{1,3}$ и $\mu_{1,3}$ – диэлектрическая и магнитная проницаемости внутренней (область I) и внешней (область III) изотропных сред; $\chi_{1,2}^2 = \varepsilon_2 \mu \omega^2 - \beta^2 - k^2 \varepsilon_2 \omega^2 / \mu + \omega \beta \xi_{1,2} \varepsilon_2 k / \mu$; ε_2 – диэлектрическая проницаемость феррита (область II); μ и k – элементы тензора магнитной проницаемости феррита; $\xi_{1,2}$ – корни квадратного уравнения

$$\tilde{a} \xi^2 - \tilde{b} \xi - \tilde{c} = 0$$

с коэффициентами $\tilde{a} = \omega \beta \varepsilon_2 \frac{k}{\mu}$; $\tilde{b} = \omega^2 \varepsilon_2 \left(\mu_0 - \mu + \frac{k^2}{\mu} \right) + \beta^2 \left(1 - \frac{\mu_0}{\mu} \right)$; $\tilde{c} = \omega \beta \mu_0 \frac{k}{\mu}$.

Поперечные составляющие полей $E_r, E_\varphi, H_r, H_\varphi$ выражаются через продольные E_z и H_z по формулам, приведенным в [1].

Запись граничных условий

$$\begin{aligned} E_{z1}(r=a) &= E_{z2}(r=a); & E_{\varphi 1}(r=a) &= E_{\varphi 2}(r=a); \\ H_{z1}(r=a) &= H_{z2}(r=a); & H_{\varphi 1}(r=a) &= H_{\varphi 2}(r=a); \\ E_{z2}(r=b) &= E_{z3}(r=b); & E_{\varphi 2}(r=b) &= E_{\varphi 3}(r=b); \\ H_{z2}(r=b) &= H_{z3}(r=b); & H_{\varphi 2}(r=b) &= H_{\varphi 3}(r=b) \end{aligned}$$

приводит к системе восьми линейных однородных алгебраических уравнений (СЛАУ) относительно неизвестных амплитудных коэффициентов. Условие нетривиальности решений СЛАУ (равенство нулю ее главного определителя) дает дисперсионное уравнение (ДУ) волн круглого открытого трехслойного феррит-диэлектрического волновода.

Решение ДУ проводится на комплексной плоскости продольного волнового числа. В докладе приводятся дисперсионные характеристики нескольких азимутально-симметричных и азимутально-несимметричных волн рассматриваемого волновода, а также результаты расчета зависимости угла поворота плоскости поляризации распространяющейся в структуре без потерь линейно поляризованной волны от частоты электромагнитного поля.

Литература

1. Виприцкий Д.Д., Назаров А.В. Распределение плотности потока мощности в поперечном сечении круглого открытого ферритового волновода без потерь // Антенны, 2004, вып. 1 (80), с. 36-41.